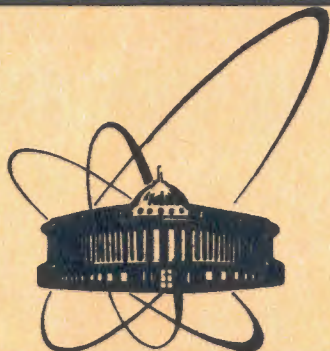


85-367



сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна

P13-85-367

А.Я.Астахов, Л.М.Сороко

СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ
МЕЗООПТИЧЕСКИЙ ФУРЬЕ-МИКРОСКОП
ДЛЯ ЯДЕРНОЙ ФОТОЭМУЛЬСИИ

1985

ВВЕДЕНИЕ

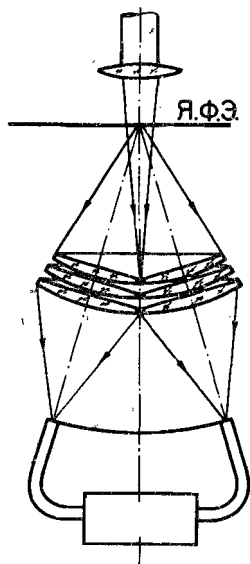
Мезооптический фурье-микроскоп /МФМ/ представляет собой принципиально новую конструкцию оптического микроскопа, предназначенного для поиска ядерных взаимодействий /"событий"/. Эксперименты с прототипом такого микроскопа описаны в [1,2]. В [3] дан анализ оптической части и построена общая теория МФМ. В [4] приведен обзор возможных применений мезооптических устройств в экспериментальной физике высоких энергий и изложен принцип построения алгоритма поиска событий. В [5] найдена взаимно-однозначная связь между положением прямого следа частицы в пространстве и сигналами на выходе МФМ, а также приведен синусный алгоритм поиска событий. В [6] проанализирован непрерывный переход от традиционного оптического микроскопа к МФМ.

В [5] показано, что выходные сигналы МФМ содержат в явном виде информацию о z -координате отрезка прямого следа частицы, находящегося в поле зрения. Однако в действующем прототипе [3] входная угловая апертура $2\alpha_{1/2} = 60^\circ$ и поэтому z -координата прямого следа частицы фиксируется с погрешностью Δz , которая примерно в 4 раза хуже разрешения по радиальной координате Δr . В этом состоит одна из причин, вызвавших необходимость создания стереоскопического МФМ. Второй причиной является то, что информация на выходе МФМ не содержит точных данных о координатах начала и конца прямого следа частицы. В условиях очень большой загрузки это может привести к неоднозначности в оценке положения вершины события в трехмерном пространстве. Для ее устранения событие наблюдают под двумя ракурсами. Полученные под двумя ракурсами два набора данных о координатах события должны совпадать в пределах погрешности, которую в стереосистеме можно сделать меньше, чем в однокурсной системе. Иначе говоря, дополнительная информация о ядерном взаимодействии, которую дает второй ракурс, уменьшает результирующую погрешность измерений. Это повышает степень достоверности выделения истинных ядерных взаимодействий и уменьшает вероятность того, что случайные наложения прямых следов частиц смогут имитировать ядерное взаимодействие.

Важно отметить, что традиционный оптический микроскоп не может быть превращен в стереоскопический вариант. Причина в том, что традиционный оптический микроскоп, формирующий увеличенное изображение зерен серебра диаметром $0,5 \pm 1$ мкм, имеет малую глубину резкости, которая составляет всего $1/50$ часть толщины слоя ядерной фотоэмульсии. Поэтому сквозное просвечивание ядерной фотоэмульсии в этих условиях сделать нельзя.

1. СОСТАВНАЯ МЕЗООПТИЧЕСКАЯ ЛИНЗА

Мезооптическое зеркало, которое используется в действующем прототипе МФМ^{1/1}, имеет сложный асферический профиль, и поэтому очень трудно изготовить большую серию таких зеркал. Чтобы устранить указанный недостаток, была разработана составная мезооптическая линза^{7/7}. Поперечный разрез МФМ с такой линзой приведен на рис.1. Эквивалент мезооптического зеркала состоит из трех линз с простыми наружными поверхностями: конической и сферической, при этом центры трех сферических поверхностей находятся в одной точке на оптической оси МФМ.



МФМ в медианной плоскости ядерной фотоэмulsionии, а образующая каждой из трех конических поверхностей перпендикулярна линии в плоскости чертежа, которая образует угол $\alpha_{1/2}$ с оптической осью. Пучок света, формируемый фурье-объективом, сходится в области расположения составной мезооптической линзы.

Показатель преломления света в оптическом стекле не превышает $n_{\max} = 1,8$. Чтобы повернуть луч света на угол 45° и превратить расходящиеся лучи света в сходящиеся при помощи указанной конструкции составной линзы, необходимо, чтобы число линз в ней было равно или больше двух. Для стекла с показателем преломления света $n = 1,47$ число линз равняется трем.

Использование нескольких последовательно расположенных сферических поверхностей вместо одной при фиксированной светосиле системы дает дополнительный положительный эффект. А именно, сферические aberrации уменьшаются в N^2 раз, где N - число сферических поверхностей, по сравнению со сферическими aberrациями от одной сферической поверхности^{8/8}. Причина в том, что сферические aberrации возрастают обратно пропорционально третьей степени фокусного расстояния. Поэтому разнесение заданной оптической светосилы на несколько сферических поверхностей приводит к уменьшению суммарных сферических aberrаций в N^2 раз. Применение стекол с различными показателями преломления света позволяет построить составную мезооптическую линзу с любым значением линейного коэффициента увеличения вдоль радиальной координаты

и таким образом согласовать размер элемента разрешения на выходе МФМ с размерами элемента фотоприемного устройства, например, матрицы прибора с зарядовой связью /ПЗС/, которая используется в действующем прототипе МФМ^{1/1}.

2. СТЕРЕОСКОПИЧЕСКИЙ МФМ

Описанная выше составная линза используется в стереоскопическом мезооптическом фурье-микроскопе /СМФМ/, принципиальная схема которого дана на рис.2, а блок-схема - на рис.3. Здесь 1 - система формирования двух сходящихся пучков света, 2 - система формирования данных об ориентации и радиальных координатах, отрезка прямого следа частицы, попавшего в поле зрения одного или двух плечей СМФМ, 3 - система поступательного перемещения слоя ядерной фотоэмulsionии, 4 - система отсчета координат центра поля зрения, 5 - блок сравнения координат прямых следов частиц, 6 - блок сравнения задержек и 7 - блок записи выходной информации. Угол между оптическими осями двух ракурсов равен 54° .

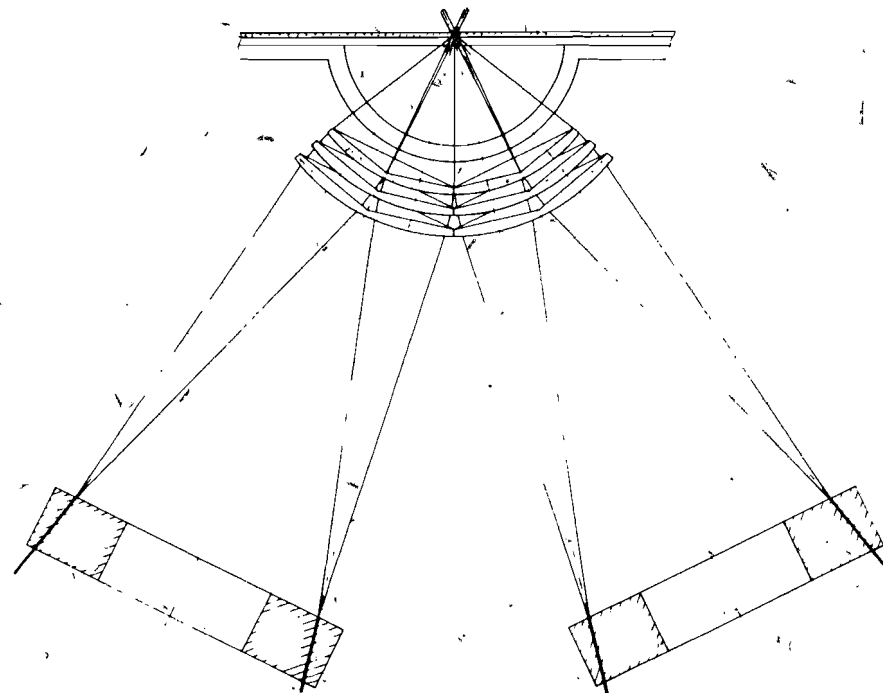


Рис.2. Поперечный разрез стереоскопического мезооптического фурье-микроскопа.

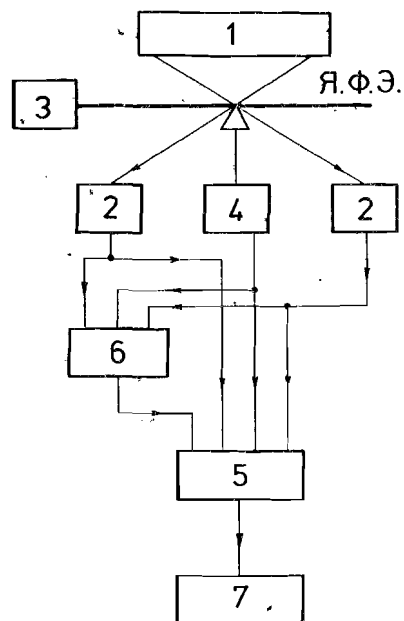


Рис. 3. Блок-схема СМФМ /см. текст/.

В этих условиях разрешение системы вдоль оси z практически совпадает с разрешением вдоль радиальной координаты.

Система формирования двух сходящихся пучков света 1 состоит из собирающей линзы, светоделителя и двух плоских зеркал. Оптические оси двух сходящихся пучков света пересекаются в точке, которая лежит в медианной плоскости ядерной фотоэмульсии. Система формирования данных об угловых и радиальных координатах прямых следов частиц 2 содержит составную, мезооптическую линзу, оптические световоды и фотоприемную матрицу. В систему перемещения ядерной фотоэмульсии 3 входят прецизион-

ные каретки и цифровой следящий привод. В системе отсчета координат центра поля зрения 4 имеется два датчика положения и два реверсивных счетчика импульсов. Блок 5 имеет два запоминающих регистра, в которых записывается информация об ориентациях прямых следов частиц, проходящих через центры полей зрения левого и правого плеч, а также координаты положения слоя ядерной фотоэмульсии в данный момент времени. В блоке сравнения задержек 6 имеется три запоминающих регистра, счетчик и схема сравнения. Счетчик фиксирует число шагов от начала измерений или задержку по числу шагов. В регистр левого плеча заносятся показатели счетчика при поступлении сигнала с блока 2 левого плеча, если сначала пришел сигнал с левого плеча, и в регистр правого плеча при поступлении сигнала с блока 2 правого плеча. Третий запоминающий регистр хранит величину фиксированной задержки. В блок записи выходной информации 7 заносится полезная информация за вычетом фона от прямолинейных объектов на поверхности ядерной фотоэмульсии. Сигналы из блоков 2 поступают в блок 5, где записываются в запоминающих регистрах, а также передаются в блок 6, где производится сравнение данных из блоков 2 по величине задержки появления сигналов о наличии прямолинейного объекта в одном из плеч СМФМ. Сигналы из блока 4 поступают в блоки 5 и 6, в которых они выполняют функцию иницирующих импульсов. Сигналы из блока 6 поступают в блок 5 либо в виде разрешающего, либо в виде стирающего импульса. Данные из блока 5 передаются в блок записи выходной информации 7.

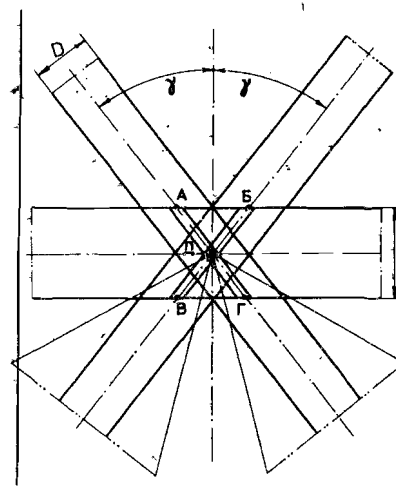


Рис. 4. Поперечный разрез слоя ядерной фотоэмульсии в области, где пересекаются два сходящихся пучка света.

В силу свойств МФМ непрямолинейные объекты не создают сигналов на его выходе и приводят только к равномерному или почти равномерному фону. Единственным источником фоновых выходных сигналов в МФМ могут быть прямолинейные объекты, имитирующие прямой след частицы. Пусть некоторый прямолинейный объект попал на оптическую ось левого плеча СМФМ/рис. 4/. Блок 2 левого плеча формирует сигнал,

по которому можно оценить угол ориентации объекта. По этому сигналу производят опрос правого плеча СМФМ. При наличии сигнала о прямолинейном объекте в правом плече в блоке 5 производится сравнение углов ориентаций объектов в обоих плечах. Если углы равны, то данные о координатах положения ядерной фотоэмульсии в данный момент времени, поступившие в блок 5 из блока 4, и величины углов ориентации прямолинейного объекта, поступившие в блок 5 из блоков 2, передают из блока 5 в блок 7. Случай, когда сигналы о прямолинейных объектах с одним и тем же углом ориентации возникают одновременно в обоих плечах СМФМ, возникает тогда, когда прямой след частицы находится в медианной плоскости ядерной фотоэмульсии и проходит через точку "Д" на рис. 4. Соответствующие разряды регистров блока 5 при этом стираются.

Если сигнала о наличии прямолинейного объекта в правом плече нет или если углы ориентаций этих объектов не равны, то в блоке 5 запоминается информация о координатах положения ядерной фотоэмульсии в данный момент времени и об углах ориентации этих объектов в каждом плече. Соответствующие логические операции выполняются за время между моментами прихода двух последовательных сигналов из блока 4. Слой ядерной фотоэмульсии перемещают вдоль одной декартовой координаты при помощи блока 3. В блоке 6 производят вычисление задержки между моментами появления сигналов от прямолинейного объекта в правом плече относительно левого.

После появления сигнала от прямолинейного объекта в правом плече в блоке 6 производят сравнение измеренной задержки с фиксированной. Если измеренная задержка меньше фиксированной, то в блоке 6 формируется разрешающий потенциал на передачу информации из блока 5 в блок 7. Если измеренная задержка равна фиксированной, то в блоке 6 формируется запрещающий потенциал.

В этом случае передача данных из блока 5 в блок 7 не производится. Информация о прямолинейном объекте "Б", лежащем на поверхности ядерной фотоэмульсии /рис.4/, стирается. Данные измерений стираются также после того, как выполнены все проверки, инициированные сигналом наличия прямолинейного объекта в правом плече СМФМ, или в том случае, если измеренная задержка оказалась больше фиксированной.

Если сигнал наличия прямолинейного объекта появляется сначала в левом плече, а затем в правом, то это означает, что объект находится выше медианной плоскости слоя ядерной фотоэмульсии. Этому случаю соответствуют точки "А" и "Б" на рис.4. Если сигнал наличия прямолинейного объекта появляется сначала в правом плече, а затем в левом, то это означает, что объект находится ниже медианной плоскости слоя ядерной фотоэмульсии: точки "В" и "Г" на рис.4. Указанные свойства меняются на обратные, если изменить на обратное направление перемещения слоя ядерной фотоэмульсии.

Таким образом, если прямолинейный объект находится на некотором расстоянии от поверхности слоя ядерной фотоэмульсии, то сигналы стираний, которые вырабатываются в блоке 5, не могут погасить данные об объекте, занесенные в регистр. Если же прямолинейный объект находится на одной из наружных поверхностей слоя ядерной фотоэмульсии, то информация в обоих плечах стирается и в блок 7 не поступает.

В СМФМ, разрабатываемом в настоящее время в ОИЯИ, ширина полосы неопределенности при фиксировании координат центра поля зрения в момент прохождения мезооптического изображения через фокальную окружность равна 2 мкм, а диаметр поля зрения $D = 150$ мкм. Для $\gamma = 27^\circ$ погрешность в определении длины отрезков АВ или ВГ составит 3 мкм. С той же погрешностью будет фиксироваться z-координата каждого прямого следа частицы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P13-83-119, Дубна, 1983.
2. Астахов А.Я., Сороко Л.М. ОИЯИ, P13-83-120, Дубна, 1983.
3. Астахов А.Я. и др. ОИЯИ, P13-84-277, Дубна, 1984.
4. Benze Gy.L., Soroko L.M. JINR, E13-84-310, Dubna, 1984.
5. Бенце Д., Сороко Л.М. ОИЯИ, P13-85-136, Дубна, 1985.
6. Бенце Д., Сороко Л.М. ОИЯИ, P13-85-137, Дубна, 1985.
7. Сороко Л.М.: Авт.свид.СССР №1121637 от 30.03.83. Бюл. ОИ, 1984, №40, с.138.
8. Борн М., Вольф Э. Основы оптики. "Наука", М., 1970, с.244.

Рукопись поступила в издательский отдел
17 мая 1985 года.

Внимание организаций и лиц, заинтересованных в получении публикаций Объединенного института ядерных исследований

Принимается подписка на препринты и сообщения Объединенного института ядерных исследований.

Установлена следующая стоимость подписки на 12 месяцев на издания ОИЯИ, включая пересылку, по отдельным тематическим категориям:

ИНДЕКС	ТЕМАТИКА	Цена подписки на год
1.	Экспериментальная физика высоких энергий	10 р. 80 коп.
2.	Теоретическая физика высоких энергий	17 р. 80 коп.
3.	Экспериментальная нейтронная физика	4 р. 80 коп.
4.	Теоретическая физика низких энергий	8 р. 80 коп.
5.	Математика	4 р. 80 коп.
6.	Ядерная спектроскопия и радиохимия	4 р. 80 коп.
7.	Физика тяжелых ионов	2 р. 85 коп.
8.	Криогеника	2 р. 85 коп.
9.	Ускорители	7 р. 80 коп.
10.	Автоматизация обработки экспериментальных данных	7 р. 80 коп.
11.	Вычислительная математика и техника	6 р. 80 коп.
12.	Химия	1 р. 70 коп.
13.	Техника физического эксперимента	8 р. 80 коп.
14.	Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами	1 р. 70 коп.
15.	Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях	1 р. 50 коп.
16.	Дозиметрия и физика защиты	1 р. 90 коп.
17.	Теория конденсированного состояния	6 р. 80 коп.
18.	Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники	2 р. 35 коп.
19.	Биофизика	1 р. 20 коп.

Подписка может быть оформлена с любого месяца текущего года.

По всем вопросам оформления подписки следует обращаться в издательский отдел ОИЯИ по адресу: 101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79.

В Объединенном институте ядерных исследований начал выходить сборник "Краткие сообщения ОИЯИ". В нем будут помещаться статьи, содержащие оригинальные научные, научно-технические, методические и прикладные результаты, требующие срочной публикации. Будучи частью "Сообщений ОИЯИ", статьи, вошедшие в сборник, имеют, как и другие издания ОИЯИ, статус официальных публикаций.

Сборник "Краткие сообщения ОИЯИ" будет выходить регулярно.

The Joint Institute for Nuclear Research begins publishing a collection of papers entitled *JINR Rapid Communications* which is a section of the JINR Communications and is intended for the accelerated publication of important results on the following subjects:

Physics of elementary particles and atomic nuclei.
Theoretical physics.
Experimental techniques and methods.
Accelerators.
Cryogenics.
Computing mathematics and methods.
Solid state physics. Liquids.
Theory of condensed matter.
Applied researches.

Being a part of the JINR Communications, the articles of new collection like all other publications of the Joint Institute for Nuclear Research have the status of official publications.

JINR Rapid Communications will be issued regularly.



Астахов А.Я., Сороко Л.М.

P13-85-367

Стереоскопический мезооптический фурье-микроскоп для ядерной фотоэмульсии

Изложена конструкция составной мезооптической линзы с коническими и сферическими поверхностями, используемой в мезооптическом фурье-микроскопе для ядерной фотоэмульсии. Описан стереоскопический мезооптический фурье-микроскоп /СМФМ/, содержащий составные мезооптические линзы из трех элементов, оптико-механическую часть и электронные блоки. Приведен алгоритм работы СМФМ, при помощи которого можно стирать фон на поверхности ядерной фотоэмульсии в реальном времени. Дана структура электронных блоков и указаны характеристики СМФМ, разрабатываемого в настоящее время в ОИЯИ.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ.

Сообщение Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1985

Перевод авторов

Astakhov A.Ya., Soroko L.M.

P13-85-367

Stereoscopic Mesooptical Fourier Transform Microscope for Nuclear Research Emulsion

The design of a composite mesooptical lens with conical and spherical surfaces used in the Mesooptical Fourier Transform Microscope is given. The stereoscopic Mesooptical Fourier-Transform Microscope (SMFTM) which includes composite mesooptical lenses, an optical mechanical part and electronic blocks is described. The working algorithm of SMFTM by which we can erase the background on the surface of the nuclear emulsion in the real time is presented. The structure of the electronic blocks is given. The performances of the SMFTM which is under construction in JINR are presented.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Problems, JINR.

Communication of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1985